



DOCKET NO.: 96790P527

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of:

KIBATSU SHINOHARA

Application No.: 10/572,532

Filed: March 17, 2006

For: **magnetron oscillator**

Art Group: 2817

Examiner: Gannon, Levi

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**REQUEST FOR PRIORITY**

Sir:

Applicant respectfully requests a convention priority for the above-captioned application, namely:

COUNTRY	APPLICATION NUMBER	DATE OF FILING
Japan	2004-278051	24 September 2004

A certified copy of the document is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Blakely, Sokoloff, Taylor & Zafman LLP

Eric S. Hyman, Reg. No. 30,139

Dated: March 20, 2009

1279 Oakmead Parkway  
Sunnyvale, CA 94085-4040  
Telephone: (310) 207-3800



**CERTIFICATE OF MAILING/TRANSMISSION (37 CFR 1.8A)**

I hereby certify that this correspondence is, on the date shown below, being:

**MAILING**

deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

**FACSIMILE**

transmitted by facsimile to (571) 273-8300 at the U.S. Patent and Trademark Office.

Date: March 20, 2009

*N Erquiaga*  
Nicole Erquiaga 3/20/09  
Date

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日                   2004年 9月24日  
Date of Application:

出願番号                   特願2004-278051  
Application Number:

トリ条約による外国への出願  
用いる優先権の主張の基礎  
なる出願の国コードと出願  
号  
The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

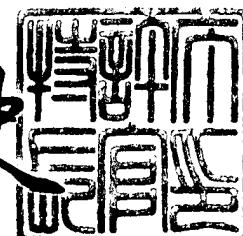
J P 2004-278051

出願人                   日本高周波株式会社  
Applicant(s):

2009年 3月16日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

鎌木 隆史



【書類名】 特許願  
【整理番号】 04-07-P01  
【提出日】 平成16年 9月24日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01J 19/00  
【発明者】  
  【住所又は居所】 神奈川県横浜市緑区中山町 1119 日本高周波株式会社内  
  【氏名】 篠原 己拔  
【特許出願人】  
  【識別番号】 391020986  
  【氏名又は名称】 日本高周波株式会社  
【代理人】  
  【識別番号】 100064621  
  【弁理士】  
  【氏名又は名称】 山川 政樹  
  【電話番号】 03-3580-0961  
【選任した代理人】  
  【識別番号】 100098394  
  【弁理士】  
  【氏名又は名称】 山川 茂樹  
【手数料の表示】  
  【予納台帳番号】 006194  
  【納付金額】 16,000円  
【提出物件の目録】  
  【物件名】 特許請求の範囲 1  
  【物件名】 明細書 1  
  【物件名】 図面 1  
  【物件名】 要約書 1  
  【包括委任状番号】 0311809

**【書類名】特許請求の範囲****【請求項 1】**

第1のマグネットロンと、  
前記第1のマグネットロンの出力電力を取り出すランチャーと、  
このランチャーの出力端に一端が接続されたインピーダンス発生器と、  
このインピーダンス発生器の他端に接続され、前記第1のマグネットロンの出力よりも低  
電力かつ周波数が安定した基準信号を前記第1のマグネットロンに供給する基準信号供給部  
と  
を備えることを特徴とするマグネットロン発振装置。

**【請求項 2】**

請求項1に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記インピーダンス発生器は、前記第1のマグネットロンの負荷インピーダンスを調整可  
能であることを特徴とするマグネットロン発振装置。

**【請求項 3】**

請求項1または2に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記基準信号供給部は、  
前記基準信号を発振する基準信号発振器と、  
前記基準信号発振器からの前記基準信号を前記インピーダンス発生器へ導くとともに、  
前記インピーダンス発生器からの前記第1のマグネットロンの出力電力を負荷の方向へ導く  
非可逆部材と  
を備えることを特徴とするマグネットロン発振装置。

**【請求項 4】**

請求項3に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記非可逆部材は、サーキュレーター、方向性結合器、分岐および結合器の何れか1つ  
であることを特徴とするマグネットロン発振装置。

**【請求項 5】**

請求項3または4に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記基準信号供給部は、前記基準信号発振器からの前記基準信号を增幅する増幅器を更  
に備えることを特徴とするマグネットロン発振装置。

**【請求項 6】**

請求項5に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記増幅器を複数備え、  
これらの増幅器は、直列または並列に接続されていることを特徴とするマグネットロン發  
振装置。

**【請求項 7】**

請求項3または4に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記基準信号供給部は、前記基準信号発振器よりも高出力かつ前記第1のマグネットロン  
よりも低出力の第2のマグネットロンを更に備え、前記基準信号の注入により前記基準信号  
の周波数に発振周波数が固定された前記第2のマグネットロンの出力電力を前記第1のマグ  
ネットロンに供給することを特徴とするマグネットロン発振装置。

**【請求項 8】**

請求項1～7の何れか1項に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記基準信号供給部と前記負荷との間に接続され、前記負荷からの反射電力を吸収する  
とともに、前記基準信号供給部からの前記第1のマグネットロンの出力電力を前記負荷の方  
向へ導くアイソレーターを更に備えることを特徴とするマグネットロン発振装置。

**【請求項 9】**

請求項8に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記アイソレーターは、  
電力を吸収するダミーロードと、  
前記反射電力を前記ダミーロードへ導くとともに、前記基準信号供給部からの前記第1

のマグнетロンの出力電力を前記負荷の方向へ導くサーキュレーターと  
を備えることを特徴とするマグネットロン発振装置。

【請求項10】

請求項1～9の何れか1項に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記第1のマグネットロンは、加熱により電子を放出するカソードと、印加される電圧に  
応じて前記カソードを加熱するヒーターと、前記カソードとの間に電界が形成されるアノ  
ードとを備え、

さらに、前記アノードに流れる電流が大きくなるにしたがって前記ヒーターに印加する  
前記電圧を小さくするヒーター電源を備えることを特徴とするマグネットロン発振装置。

【請求項11】

請求項1～10の何れか1項に記載のマグネットロン発振装置において、  
前記基準信号の電力は、前記第1のマグネットロンの出力電力に連動して可変されること  
を特徴とするマグネットロン発振装置。

【請求項12】

請求項1～11の何れか1項に記載のマグネットロン発振装置において、  
マイクロ波により生成されたプラズマを用いて被処理体に対し所定の処理を行うプラズ  
マ処理装置のマイクロ波電源として用いられることを特徴とするマグネットロン発振装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】マグネットロン発振装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、マグネットロンを発振管とするマグネットロン発振装置に関し、特に、マグネットロンよりも出力電力が低くかつ発振周波数が安定した基準信号発振器を設け、この基準信号発振器が発振する基準信号をマグネットロンに注入しマグネットロンの発振周波数を基準信号発振器の発振周波数に固定（同期）することにより、マグネットロンの周波数安定度を向上させるマグネットロン発振装置に関する。

【背景技術】

【0002】

マイクロ波帯の発振装置の一つに、トランジスタを増幅器として使用する半導体発振装置がある。この半導体発振装置は、1000MHz程度までの周波数帯に用いられる。しかし、プラズマ生成に必要な2450MHzの周波数帯においては、使用可能な半導体素子の種類が少なくかつ高価であるので、半導体発振装置は大変高コストとなる。

【0003】

2450MHz帯の発振器としては、クライストロン発振装置およびマグネットロン発振装置がある。クライストロン発振装置は、周波数安定度および振幅制御性等に優れているが、クライストロンが高価であり、クライストロンの駆動用電源の価格も比較的高いので、これらを含めると装置全体が非常に高コストになる。

これに対し、マグネットロン発振装置は、プラズマ生成に必要な出力電力10kW程度までのマグネットロンが量産されていて、安価で入手できる。また、マグネットロンの駆動用電源は、構成が簡単で、安価で製作できる。したがって、マグネットロン発振装置は、プラズマ生成用のマグネットロン電源等として多用されている。

以下、マグネットロン発振装置に用いられるマグネットロンの特性について説明する。

【0004】

図10は、マグネットロンの負荷特性を示すリーケダイアグラムである。このダイアグラムは、マグネットロンに取り付けられたテスト用ランチャーの出力端に負荷を接続し、この負荷のインピーダンスを変化させて得られた出力電力および発振周波数と負荷インピーダンスとの関係を、出力電力一定、周波数一定の条件でスミスチャート上に表示したものである。

図10から分かるように、マグネットロンは、負荷インピーダンスにより、出力電力および発振周波数が変化する。負荷インピーダンスにより発振周波数が変化する現象を「プリング現象」という。

【0005】

図11は、マグネットロンの動作特性を示すパフォーマンスチャートである。このチャートは、マグネットロンに取り付けられたテスト用ランチャーの出力端に整合負荷を接続した上で、マグネットロンを動作状態とし、アノード電流を変化させたときのアノード電圧、出力電力および発振周波数の変化を示したものである。

図11から分かるように、アノード電流に対し、アノード電圧はほぼ一定で、出力電力はほぼ比例して変化し、発振周波数は規格値内ではあるが変化する（周波数変化は15MHzであり、その変化率は0.6%である）。

【0006】

また、マグネットロンは、アノード電流を変化させて出力電力が変化し、ある値以下になると、発振モードがジャンプし、異なった周波数で発振し、発振状態が不安定になる。この現象を「モーティング」という。モーティングが起こると、間歇発振になり、発振周波数も一定しないので、負荷側に接続した整合回路等が正常に動作しなくなるなどの不具合が生じる（例えば、非特許文献1を参照）。

【0007】

なお、出願人は、本明細書に記載した先行技術文献情報で特定される先行技術文献以外

には、本発明に関連する先行技術文献を出願時までに発見するには至らなかった。

【特許文献1】国際公開第2004/068917号パンフレット

【特許文献2】特開平2-249301号公報

【非特許文献1】電気学会マイクロ波プラズマ調査専門委員会編、「マイクロ波プラズマの技術」、オーム社、平成15年9月25日、p. 240-243

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0008】

このように、マグネットロンは、プリング現象により負荷インピーダンスに応じて発振周波数が変化する上に、出力電力（アノード電流）によっても発振周波数が変化する。さらに、モーティングにより、出力電力が小さい領域で発振周波数および発振状態が不安定になる。

したがって、マグネットロンを用いたマグネットロン発振装置は、発振周波数の固定および周波数の安定化が困難であり、この問題は、マグネットロン発振装置をプラズマ生成用のマイクロ波電源等に用いるために解決しなければならない課題である。

##### 【0009】

この課題を解決するものとして、マグネットロンよりも発振周波数が安定した基準信号発振器を設け、この基準信号発振器が発振する基準信号をマグネットロンに注入してマグネットロンの発振周波数を基準信号発振器の発振周波数（基準周波数）に固定し、かつ、マグネットロンの周波数安定度を基準信号発振器の安定度に等しくする技術が提案されている。基準信号の注入により発振器の発振周波数を固定することを「インジェクションロッキング」という（例えば、特許文献1を参照）。

##### 【0010】

次の関係式が成り立つときに、インジェクションロッキングが可能となる。

$$BW = 2F_0 / (Q_e \cdot G^{1/2}) \quad \dots \quad (1)$$

$$G = P_o / P_i \quad \dots \quad (2)$$

ここで、

BW : インジェクションロッキング動作時と非動作時との発振周波数の差

F<sub>0</sub> : 基準信号の周波数（基準周波数）

Q<sub>e</sub> : マグネットロンの負荷Q

P<sub>o</sub> : マグネットロンの出力電力

P<sub>i</sub> : マグネットロンに注入される基準信号の電力（注入電力）

##### 【0011】

しかし、マグネットロンの出力電力（アノード電流）を大きくすると、式（2）よりGの値が大きく、式（1）よりBWの値が小さくなるため、インジェクションロッキングが外れやすくなり、マグネットロンの発振周波数が不安定になるという問題があった。

##### 【0012】

本発明は、これらの課題を解決するためになされたものであり、その目的は、安価なマイクロ波電源として、固定された発振周波数で周波数安定度がよく、出力電力を変化させても周波数が変動しないマグネットロン発振装置を提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

##### 【0013】

このような目的を達成するために、本発明に係るマグネットロン発振装置は、第1のマグネットロンと、第1のマグネットロンの出力電力を取り出すランチャーと、このランチャーの出力端に一端が接続されたインピーダンス発生器と、このインピーダンス発生器の他端に接続され、第1のマグネットロンの出力よりも低電力かつ周波数が安定した基準信号を第1のマグネットロンに供給する基準信号供給部とを備えることを特徴とする。

ここで、インピーダンス発生器は、第1のマグネットロンの負荷インピーダンスを調整可能である。

##### 【0014】

また、基準信号供給部は、基準信号を発振する基準信号発振器と、基準信号発振器からの基準信号をインピーダンス発生器へ導くとともに、インピーダンス発生器からの第1のマグネットロンの出力電力を負荷の方向へ導く非可逆部材とを備えるものであってもよい。ここで、非可逆部材は、サーキュレーター、方向性結合器、分歧および結合器の何れかで実現することができる。

#### 【0015】

また、基準信号供給部は、基準信号発振器からの基準信号を増幅する増幅器を更に備えるものであってもよい。増幅器を複数備える場合には、これらの増幅器は、直列および並列の何れの接続であってもよい。

また、基準信号供給部は、基準信号発振器よりも高出力かつ第1のマグネットロンよりも低出力の第2のマグネットロンを更に備え、基準信号の注入により基準信号の周波数に発振周波数が固定された第2のマグネットロンの出力電力を第1のマグネットロンに供給するようにもよい。

#### 【0016】

また、上述したマグネットロン発振装置は、基準信号供給部と負荷との間に接続され、負荷からの反射電力を吸収するとともに、基準信号供給部からの第1のマグネットロンの出力電力を負荷の方向へ導くアイソレーターを更に備えていてもよい。

ここで、アイソレーターは、電力を吸収するダミーロードと、反射電力をダミーロードへ導くとともに、基準信号供給部からの第1のマグネットロンの出力電力を負荷の方向へ導くサーキュレーターとを備えるものであってもよい。

#### 【0017】

一方、第1のマグネットロンは、加熱により電子を放出するカソードと、印加される電圧に応じてカソードを加熱するヒーターと、カソードとの間に電界が形成されるアノードとを備えており、上述したマグネットロン発振装置は、アノードに流れる電流が大きくなるにしたがってヒーターに印加する電圧を小さくするヒーター電源を更に備えていてもよい。

また、上述したマグネットロン発振装置において、基準信号の電力は、第1のマグネットロンの出力電力に連動して可変されるようにしてもよい。

また、上述したマグネットロン発振装置は、マイクロ波により生成されたプラズマを用いて被処理体に対し所定の処理を行うプラズマ処理装置のマイクロ波電源として用いられるものであってもよい。

#### 【発明の効果】

#### 【0018】

本発明では、基準信号をマグネットロンに注入することにより、マグネットロンの発振周波数が基準信号の周波数に固定される。基準信号の周波数はマグネットロンの発振周波数よりも安定しているので、マグネットロン発振装置の周波数安定度を向上させることができる。モーティングも起きないので、負荷側に接続される整合回路等を正常に動作させることができるとなる。

#### 【0019】

また、本発明では、インピーダンス発生器を用いてマグネットロンの負荷インピーダンスを変化させることができる。マグネットロンの負荷インピーダンスを変化させると、プリング現象に基づいてマグネットロンの発振周波数が変化する。したがって、インピーダンス発生器を用いて負荷インピーダンスを調整することにより、発振周波数の変化幅を縮小させることができる。

すなわち、予めマグネットロンの負荷インピーダンスをリーケダイアグラム上の特定の値に調整しておくことにより、マグネットロンの出力電力に応じたマグネットロンの発振周波数の変化幅を縮小させることができる。

したがって、本発明によれば、マグネットロンの出力電力を変化させても発振周波数を基準信号の周波数に固定し、発振周波数が安定した出力電力範囲を広くすることができる。

#### 【0020】

しかも、本発明では、発振管としてマグネットロンを用いているので、半導体発振装置や

クライストロン発振装置と比較して、はるかに安価で製造することができる。本発明でも、周波数安定度が高い基準信号発振器を用いているが、この基準信号発振器は低出力で安価であるから、装置全体の製造コストはさほど高くはない。ここで、基準信号発振器からの基準信号を增幅器や、上記マグネットロンよりも低出力のマグネットロンを用いて増幅することにより、さらに低出力で安価な基準信号発振器を用いることができ、装置全体の製造コストを抑制することができる。

#### 【0021】

また、本発明では、アイソレーターを設けることにより、負荷からの反射電力が基準信号発振器へ送られて基準信号発振器が誤動作することを防止できる。

また、本発明では、カソードに流れる電流が大きくなるにしたがってヒーターに印加する電圧を小さくすることにより、カソードからアノードに向かって放出された電子のうち、カソードに戻ってきた電子の衝突によって生ずるカソードの異常な加熱を抑制することができる。

また、本発明では、上述したマグネットロン発振装置をプラズマ処理装置に用い、安定した周波数のマイクロ波を供給することにより、周波数依存性のある要素を多く含むプラズマ処理装置の動作を安定化し、かつ、一定化することができる。また、帯域特性を考慮しなくてもよいので、プラズマ処理装置の放電電極等の設計が容易になる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0022】

以下、図面を参照し、本発明の一実施の形態について詳細に説明する。

図1は、本発明の一実施の形態に係るマグネットロン発振装置の構成を示すブロック図である。本実施の形態に係るマグネットロン発振装置1は、マグネットロン2と、マグネットロン電源3と、ランチャー4と、インピーダンス発生器5と、基準信号供給部6と、アイソレーター7とから構成される。

#### 【0023】

マグネットロン2は、マグネットロン発振装置1の発振管であり、マイクロ波Mを発振する。マグネットロン発振装置1がプラズマ生成用のマイクロ波電源として用いられる場合には、例えば発振周波数が2450MHz、出力電力が数kW～10kWのマグネットロン2を用いることができる。

マグネットロン電源3は、マグネットロン2のヒーターおよびカソードに電圧および電流を供給する電源である。マグネットロン電源3としては、安定度のよいスイッチングレギュレーター方式を用いた電源を使用し、電源変動による周波数変動を極力抑制することも必要である。

#### 【0024】

ランチャー4は、発振したマグネットロン2から効率よく出力電力を取り出す高周波結合器であり、一端がショートされた矩形導波管からなる。マグネットロン2はランチャー4の上に配設され、ランチャー4の内部に突出したマグネットロン2のアンテナ21からマイクロ波Mが放射される。

インピーダンス発生器5は、インピーダンスを任意の値に設定する機能を有するものであり、定在波発生器としても作用する。インピーダンスを変化させる方式は、後述するように多種類ある。また、使用される伝送線路により、導波管系、同軸系等に分類される。インピーダンス発生器5は、その一端がランチャー4の出力端に接続され、マグネットロン2の負荷インピーダンスの調整に用いられる。

#### 【0025】

基準信号供給部6は、基準信号Sをマグネットロン2に供給するものであり、少なくとも基準信号発振器61と3端子サーチューレーター62とを有する。

ここで、基準信号発振器61は、基準信号Sを発振する発振器であり、マグネットロン2よりも出力電力が低くかつ発振周波数が安定した発振器が用いられる。例えば、水晶発振器または誘電体共振器を使用したDRO等を原振とし、後述するように増幅、通倍を行い、数W～数10Wの出力電力を得る。基準信号発振器61の発振周波数、すなわち基準信

号Sの周波数は、マグネットロン2の発振周波数を固定する所望の周波数に設定される。例えば、マグネットロン2の発振周波数を2450MHzに固定する場合には、その2450MHzの基準信号Sが用いられる。

#### 【0026】

3端子サーキュレーター62は、第1端子からの入力電力を第2端子へ、第2端子からの入力電力を第3端子へ、第3端子からの入力電力を第1端子へそれぞれ低損失で伝送し、その逆方向へは伝送しない非可逆部材である。ここでは、第1端子はインピーダンス発生器5の他端に接続され、第2端子はアイソレーター7に接続され、第3端子は基準信号発振器61に接続される。したがって、基準信号発振器61からの基準信号Sは、インピーダンス発生器5のみに送られ、マグネットロン2からのマイクロ波Mはインピーダンス発生器5からアイソレーター7のみに送られる。なお、サーキュレーター62の代わりに、方向性結合器や単なる分岐、または結合器を使用してもよい。しかし、この場合は、結合度や負荷インピーダンス等の制限が生ずる。

#### 【0027】

アイソレーター7は、負荷で反射されたマイクロ波（反射電力）Rを吸収するものであり、3端子サーキュレーター71とダミーロード72とを有する。

3端子サーキュレーター71は、上述した3端子サーキュレーター62と同様の非可逆部材であり、第1端子はサーキュレーター62の第2端子に接続され、第2端子は負荷に接続され、第3端子はダミーロード72に接続される。したがって、負荷で反射されたマイクロ波Rはダミーロード72のみに送られ、マグネットロン2からのマイクロ波Mは基準信号供給部6から負荷の方向のみに送られる。

ダミーロード72は、電力を効率よく吸収する機能をもつ。負荷からの反射が全反射の場合でも耐えられるように、マグネットロン2の最大出力値でも耐えられる吸収能力を有するものが用いられる。

#### 【0028】

このような構成のマグネットロン発振装置1では、マグネットロン2のアンテナ21からランチャー4の内部に放射されたマイクロ波Mは、インピーダンス発生器5を経由して、サーキュレーター62および71を通過し負荷へ送られる。

また、負荷で反射されたマイクロ波Rは、サーキュレーター71によりダミーロード72へ送られて吸収される。したがって、負荷で反射されたマイクロ波Rがサーキュレーター62により基準信号発振器61へ送られて基準信号発振器61が誤動作することを防止できる。

#### 【0029】

一方、基準信号発振器61からの基準信号Sは、サーキュレーター62によりインピーダンス発生器5を経由してランチャー4に送られ、アンテナ21からマグネットロン2に注入される。

基準信号Sがマグネットロン2に注入されると、マグネットロン2の発振周波数が基準信号Sの周波数F<sub>0</sub>に近く、式(1)および式(2)が成り立つ場合には、マグネットロン2の発振周波数が基準信号Sの周波数F<sub>0</sub>に引き寄せられて固定される（インジェクションロッキング）。基準信号Sは周波数安定度がよいので、その基準信号Sの周波数F<sub>0</sub>にマグネットロン2の発振周波数を固定し、マグネットロン2の発振周波数を安定化させることができる。

#### 【0030】

また、本実施の形態では、インピーダンス発生器5を用いて、マグネットロン2の負荷インピーダンスを変化させることができる。負荷インピーダンスが変化すると、プリング現象により、インジェクションロッキング非動作時のマグネットロン2の発振周波数が変化する。したがって、インピーダンス発生器5を用いて負荷インピーダンスを調整することにより、インジェクションロッキング非動作時のマグネットロン2の発振周波数を制御することが可能となる。

この原理を用いて、本実施の形態では、インジェクションロッキング非動作時のマグネ

トロン2の発振周波数を基準信号Sの周波数F<sub>0</sub>とほぼ等しくする。すなわち、式(1)のBWの値を小さくする。これにより、式(1)の関係から、Gの値を大きくすることができます。この結果、式(2)から次のような効果が導かれる。

#### 【0031】

(イ) マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>が一定ならば、基準信号Sの電力、すなわち注入電力P<sub>i</sub>を小さくすることができる。すなわち、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>よりも十分に小さい注入電力P<sub>i</sub>、例えば1/100以下の注入電力P<sub>i</sub>でインジェクションロッキングを容易に行うことができる。

#### 【0032】

(ロ) 注入電力P<sub>i</sub>が一定ならば、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>を大きくすることができます。すなわち、インジェクションロッキングが外れないマグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>の範囲を広くすることができる。

インピーダンス発生器を用いて発振周波数を制御することにより、発振周波数の変化幅を縮小させることができます。その結果、BWの値が小さくなり、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>を変化させるなどしても、マグネットロン2の発振周波数を基準信号Sの周波数F<sub>0</sub>に固定し、発振周波数が安定した出力電力P<sub>o</sub>の範囲を広くすることができます。

#### 【0033】

図2は、インピーダンス発生器5により、マグネットロン2の負荷VSWR(電圧定在波比)を一定にして、負荷位相を変化させたときのマグネットロン2の発振状態を表すグラフであり、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>を一定にしたときの発振周波数範囲の変化を示している。

このグラフからも分かるように、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>を変えても、インピーダンス発生器5を用いて負荷インピーダンスを調整することにより、マグネットロン2の発振周波数を基準信号Sの周波数F<sub>0</sub>に合わせることができ、その結果、インジェクションロッキングが可能な出力電力P<sub>o</sub>の範囲を広くすることができます。

#### 【0034】

なお、リーケダイアグラム上には、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>に関係なく、マグネットロン2の発振周波数が一定となる負荷インピーダンスの値がある。したがって、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>に応じて負荷インピーダンスを変化させることにより、発振周波数が安定した出力電力P<sub>o</sub>の範囲を広くすることができる。

#### 【0035】

また、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>に連動して、基準信号発振器61の出力電力を可変し、Gの値が一定になるように注入電力P<sub>i</sub>を変化させるようにしてもよい。この制御を行わないと、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>を大きくしたときに、Gの値が大きくなり、BWの値が小さくなるため、インジェクションロッキングが外れやすくなる。しかし、上述した制御を行ってGの値を一定に保つことにより、マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>を大きくしてもインジェクションロッキングを外れにくくなり、発振周波数が安定した出力電力P<sub>o</sub>の範囲を広くすることができます。

#### 【0036】

次に、本実施の形態に係るマグネットロン発振装置1の各部の構成について、さらに説明する。

##### [マグネットロン2およびマグネットロン電源3]

図3は、マグネットロン2およびマグネットロン電源3の構成を示すブロック図である。

マグネットロン2は、カソードとヒーターとが一体となったヒーター/カソードH/Kと、アノードAとを有している。図示しないが、アノードAは複数に分割され、これらが振動回路(共振回路)により接続されている。また、アノードAと同心的にヒーター/カソードH/Kが設けられている。

#### 【0037】

ヒーター/カソードH/Kの両端には、マグネットロン電源3のヒーター電源31が接続されている。ヒーター電源31でヒーター/カソードH/Kにヒーター電圧を印加するこ

とにより、ヒーター／カソードH／Kが加熱され、ヒーター／カソードH／Kから電子が放出される。

ヒーター／カソードH／Kの一端にはさらに、マグネットロン電源3のアノード電源32が接続されている。アースに接続されたアノードAに対し、負の電圧をアノード電源32からヒーター／カソードH／Kに印加することにより、ヒーター／カソードH／KとアノードAとの間に電界が形成され、ヒーター／カソードH／KからアノードAに向けて電子が放出される。

この状態で、ヒーター／カソードH／Kと平行（電界と直角方向）に磁界を印加すると、発振が起きる。

#### 【0038】

このようにしてマグネットロン2を動作させると、ヒーター／カソードH／KからアノードAに向けて放出された電子のうち、ヒーター／カソードH／Kに戻ってきた電子が衝突することにより、ヒーター／カソードH／Kが異常に加熱される現象が起きる。この現象を「バックヒーティング」という。発振を強くするほど、すなわち出力電力P<sub>o</sub>を大きくするほど、バックヒーティングが激しく起こり、ヒーター／カソードH／Kの温度が必要以上に高くなる。

#### 【0039】

マグネットロン2の出力電力P<sub>o</sub>に応じてアノード電流が大きくなるので、本実施の形態では、ヒーター電源31を用いてアノード電流に逆比例してヒーター電圧を下げ、ヒーター／カソードH／Kへの加熱を抑制する。

図4は、アノード電流（陽極電流）とヒーター電圧（フィラメント電圧）との関係を示すグラフである。このグラフにしたがい、ヒーター電源31を用いてヒーター電圧を制御することにより、バックヒーティングを防止することができる。

#### 【0040】

##### [インピーダンス発生器5]

図5は、導波管系のインピーダンス発生器5の構成例を示す断面図である。

図5(a)は、リアクタンススタブ方式のインピーダンス発生器の一構成例を示す断面図である。このインピーダンス発生器5aは、矩形導波管50の管壁から管内へ3本のスタブ51a, 51b, 51cが突出する構造を有する。これらのスタブ51a～51cは、矩形導波管50の軸線Z方向に $\lambda g/8$ ,  $\lambda g/4$ 等の間隔で配設される。「 $\lambda g$ 」は矩形導波管50の管内波長である。スタブ51a～51cは断面が円形の金属棒からなり、矩形導波管50の管内に突出する長さによりスタブ51a～51cのリアクタンスが変化し、それに応じて矩形導波管50内のインピーダンスが変化する。なお、スタブの数は、1本以上であればよいが、3本の場合が主である。また、スタブは通常、矩形導波管50のH面に配設されるが、E面に配設されるEスタブ方式であってもよい。

#### 【0041】

図5(b)は、導波管分岐形のインピーダンス発生器の一構成例を示す断面図である。このインピーダンス発生器5bは、矩形導波管50の管壁に対して垂直に3本の分岐導波管52a, 52b, 52cが接続された構造を有する。これらの分岐導波管52a～52cは、矩形導波管50の軸線Z方向に $\lambda g/8$ ,  $\lambda g/4$ 等の間隔で配設される。分岐導波管52a～52cのそれぞれは、一端が矩形導波管50内に開口し、他端がショート板53a～53cにより電気機能的にショートされている。分岐導波管52a～52cのそれぞれの一端から他端までの長さを変化させることにより、直列リアクタンスが変化し、矩形導波管50内のインピーダンスが変化する。

#### 【0042】

この他に、移相器とスタブチューナとを組み合わせたもの、3dB結合器と可変短絡器との組み合わせによるインピーダンス発生器、導波管4分岐形チューナ（例えば、特許文献2を参照）、スラグチューナ等をインピーダンス発生器5として用いることができる。

また、同軸系のインピーダンス発生器5は、上述した導波管系の矩形導波管を同軸管に置き換えたものである。

## 【0043】

## [基準信号供給部6]

基準信号供給部6における基準信号の増幅方法について説明する。基準信号の増幅方法には、増幅器を用いる方法と、インジェクションロッキングを用いる方法とがある。

## 【0044】

図6は、増幅器を用いて基準信号を増幅する方法を説明するための図である。

複数の増幅器を用いる場合には、図6(a)に示す基準信号供給部6aのように、複数の増幅器63a, 63b, 63cを直列に接続して、基準信号発振器61の出力電力を増幅器63a～63cで順次増幅することにより、所望の電力の基準信号Sを得ることができる。

また、図6(b)に示す基準信号供給部6bのように、分配器65と合成器66との間に複数の増幅器64a, 64b, 64cを並列に接続して、基準信号発振器61の出力を分配器65により増幅器64a～64cに電力分配し、増幅器64a～64cの出力を合成器66により電力合成することによっても、所望の電力の基準信号Sを得ることができる。この場合、増幅器64a, 64b, 64cは各々複数個直列に接続してもよい。

## 【0045】

図7は、インジェクションロッキングを用いて基準信号を増幅する方法を説明するための図である。この図に示す基準信号供給部6cは、基準信号発振器61および3端子サーチュレーター62の他に、マグネットロン発振装置1のマグネットロン2、マグネットロン電源3、ランチャー4、インピーダンス発生器5、3端子サーチュレーター62にそれぞれ対応するマグネットロン102、マグネットロン電源103、ランチャー104、インピーダンス発生器105、3端子サーチュレーター162を有している。

マグネットロン102には、基準信号発振器61よりも高出力で、マグネットロン2よりも低出力のものが用いられる。基準信号発振器61からの基準信号S1をマグネットロン102に注入し、マグネットロン102の発振周波数を基準信号S1の周波数に固定する。これにより、基準信号S1と同様に周波数安定度がよく、しかも基準信号S1よりも電力が高いマイクロ波S2をマグネットロン102より得ることができる。このマイクロ波S2を基準信号としてマグネットロン2に注入する。なお、インピーダンス発生器105は用いなくてもよい。

## 【0046】

また、図8に示す基準信号供給部6dのように、図7におけるマグネットロン102とマグネットロン電源103とランチャー104とインピーダンス発生器105と3端子サーチュレーター162とからなる構成体を複数設け、これらを分配器67と合成器68との間に並列接続して、並列にインジェクションロッキングを行うようにしてもよい。なお、図8において、102a, 102bはマグネットロン、103a, 103bはマグネットロン電源、104a, 104bはランチャー、105a, 105bはインピーダンス発生器、162a, 162bは3端子サーチュレーター、S1a, S1bは分配器67によりマグネットロン102a, 102bのそれぞれに分配される基準信号、S2a, S2bはマグネットロン102a, 102bのそれから出力されるマイクロ波、S3はマイクロ波S2a, S2bが合成器68により合成されたマイクロ波である。なお、インピーダンス発生器105a, 105bは用いなくてもよい。

## 【0047】

以上のようにして基準信号を増幅することにより、基準信号発振器61として低出力の発振器を用いることができる。周波数安定度がよい発振器であっても低出力のものは安価で入手できるので、周波数安定度がよい高出力のマグネットロン発振装置1の製造コストを抑制することができる。

## 【0048】

次に、本実施の形態に係るマグネットロン発振装置1の適用例について説明する。

## [プラズマ処理装置]

マグネットロン発振装置1は、プラズマ処理装置のマイクロ波電源として用いることができる。

きる。図9は、マグネットロン発振装置1が用いられたプラズマ処理装置の一構成例を示す図である。

#### 【0049】

この図に示すプラズマ処理装置は、上部が開口した有底円筒形の処理容器81を有している。処理容器81の底面中央部には、絶縁板82を介して載置台83が固定されている。載置台83の上面に、処理対象の基板84が配置される。

処理容器81の底面周縁部には、真空排気用の排気口85が設けられている。処理容器81の側壁には、処理容器81内にガスを導入するガス導入用ノズル86が設けられている。例えばプラズマ処理装置がエッティング装置として用いられる場合には、ノズル86からAr等のプラズマガスと、CF<sub>4</sub>等のエッティングガスとが導入される。

#### 【0050】

処理容器81の上部開口は、誘電体板87で閉塞されている。なお、処理容器81の側壁上面と誘電体板87との間にOリングなどのシール部材88を介在させ、処理容器81内の気密性を確保している。

誘電体板87の上には、処理容器81内にマイクロ波Mを供給するマイクロ波供給装置90のアンテナであるラジアルラインスロットアンテナ(RLSA)99が配設されている。RLSA99および誘電体板87の外周は、処理容器81の側壁上に環状に配置されたシールド材89によって覆われ、RLSA99から処理容器81内に供給されるマイクロ波が外部に漏れない構造になっている。

#### 【0051】

マイクロ波供給装置90は、マイクロ波電源としてのマグネットロン発振装置1と、伝送モードがTE<sub>10</sub>の矩形導波管91と、伝送モードをTE<sub>10</sub>からTE<sub>11</sub>またはTM<sub>01</sub>に変換する矩形円筒変換器92と、伝送モードがTE<sub>11</sub>またはTM<sub>01</sub>の円筒導波管93と、円筒導波管93に設けられた負荷整合器94と、円筒導波管93に接続されるラジアル導波路95と、ラジアル導波路95の下面に形成されるRLSA99とを有している。

ここで、ラジアル導波路95は、互いに平行な2枚の円形導体板96, 97と、これら2枚の導体板96, 97の外周部を接続してシールドする導体リング98とを有する。ラジアル導波路95の上面となる導体板96の中心部には、円筒導波管93が接続される。また、ラジアル導波路95の下面となる導体板97には、複数のスロットが形成され、これらのスロットからRLSA99が構成される。

#### 【0052】

このような構成のプラズマ処理装置において、マグネットロン発振装置1がマイクロ波Mを発振すると、このマイクロ波Mは矩形導波管91、矩形円筒変換器92および円筒導波管93を介して、ラジアル導波路95に導入される。そして、ラジアル導波路95に導入されたマイクロ波Mは、ラジアル導波路95の中心部から周縁部へ向かって放射状に伝搬しつつ、ラジアル導波路95下面のRLSA99から徐々に処理容器81内に供給される。処理容器81内では、供給されたマイクロ波Mにより、ノズル86から導入されたプラズマガスが電離してプラズマPが生成され、基板84に対する処理が行われる。

#### 【0053】

マグネットロン発振装置1は、マグネットロン2を発振管とするため、半導体発振装置やクライストロン発振装置と比較して、はるかに安価で製造することができる。このため、このマグネットロン発振装置1をプラズマ処理装置のマイクロ波電源として用いることにより、プラズマ処理装置の製造コストを抑制することができる。

しかも、マグネットロン発振装置1は、半導体発振装置やクライストロン発振装置と同じく周波数安定度がよく、モーティングも起きない。このため、周波数依存性のある要素を多く含むプラズマ処理装置の動作を安定化し、かつ、一定化することができる。また、帯域特性を考慮しなくともよいので、プラズマ処理装置の放電電極(本実施の形態においては、ラジアル導波路95およびRLSA99)等の設計が容易になる。

#### 【0054】

なお、マグネットロン発振装置1は、他方式のプラズマ処理装置にも用いることができる

。例えば、電子サイクロトロン共鳴（electron-cyclotron-resonance：E C R）プラズマ処理装置にも用いることができる。

### 【0055】

#### [通信等]

今まで、本実施の形態で用いられるマグネットロン2と同じ連続発振のマグネットロンを用いたマグネットロン発振装置は、マグネットロンの特性により通信等には不向きとされてきた。しかし、本実施の形態により周波数安定度を向上できたことから、マグネットロン発振装置を通信等にも利用できる可能性が生じた。

#### 【図面の簡単な説明】

### 【0056】

【図1】本発明の一実施の形態に係るマグネットロン発振装置の構成を示すブロック図である。

【図2】インピーダンス発生器によりマグネットロンの負荷VSWRを一定にして、負荷位相を変化させたときのマグネットロンの発振状態を表すグラフである。

【図3】マグネットロンおよびマグネットロン電源の構成を示すブロック図である。

【図4】アノード電流とヒーター電圧との関係を示すグラフである。

【図5】導波管系のインピーダンス発生器の構成例を示す断面図である。

【図6】增幅器を用いて基準信号を増幅する方法を説明するための図である。

【図7】インジェクションロッキングを用いて基準信号を増幅する方法を説明するための図である。

【図8】インジェクションロッキングを並列に行い基準信号を増幅する方法を説明するための図である。

【図9】本発明の一実施の形態に係るマグネットロン発振装置が用いられたプラズマ処理装置の一構成例を示す図である。

【図10】マグネットロンの負荷特性を示すリーケダイアグラムである。

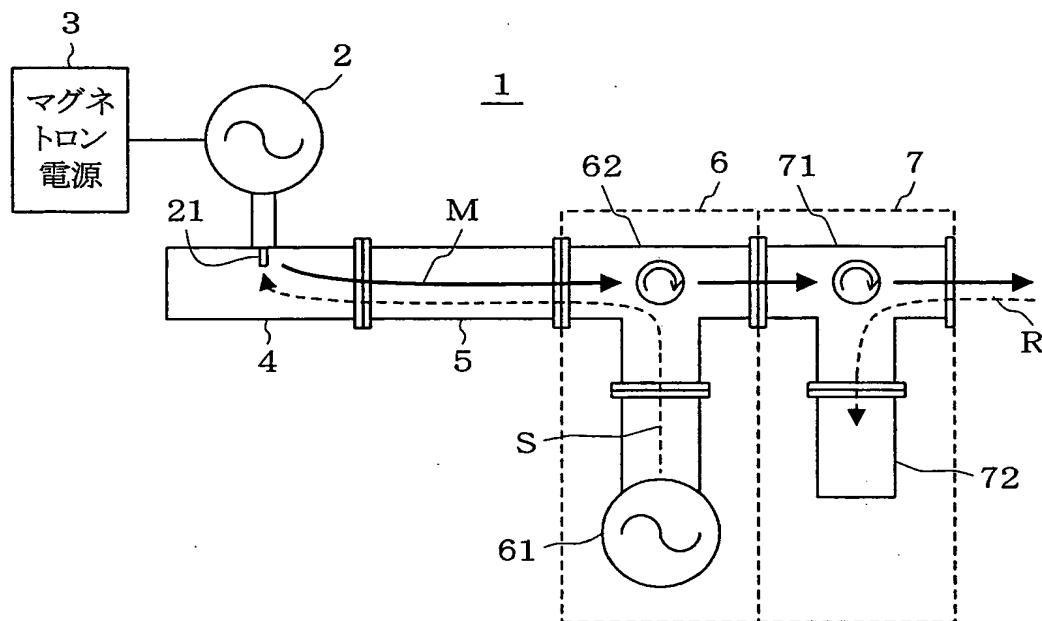
【図11】マグネットロンの動作特性を示すパフォーマンスチャートである。

#### 【符号の説明】

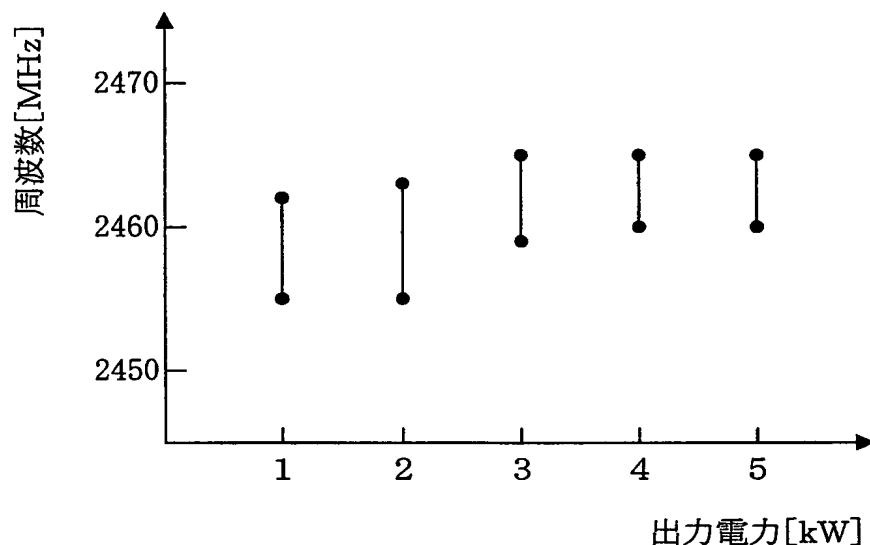
### 【0057】

1…マグネットロン発振装置、2, 102…マグネットロン、3, 103…マグネットロン電源、4, 104…ランチャー、5, 5a, 5b, 105…インピーダンス発生器、6, 6a～6c…基準信号供給部、7…アイソレーター、21, 121…アンテナ、31…ヒーター電源、32…アノード電源、50…矩形導波管、51a～51c…スタブ、52a～52c…分岐導波管、53a～53c…ショート板、61…基準信号発振器、62, 71, 162…3端子サーチュレーター、63a～63c, 64a～64c…増幅器、65, 67…分配器、66, 68…合成器、72…ダミーロード、81…処理容器、82…絶縁板、83…載置台、84…基板、85…排気口、86…ガス導入用ノズル、87…誘電体板、88…シール部材、89…シールド材、90…マイクロ波供給装置、91…矩形導波管、92…矩形円筒変換器、93…円筒導波管、94…負荷整合器、95…ラジアル導波路、96, 97…円形導体板、98…リング部材、99…ラジアルラインスロットアンテナ（RLSA）、A…アノード、H/K…ヒーター／カソード、M…マイクロ波、S, S1, S2, S3…基準信号、R…マイクロ波（反射電力）。

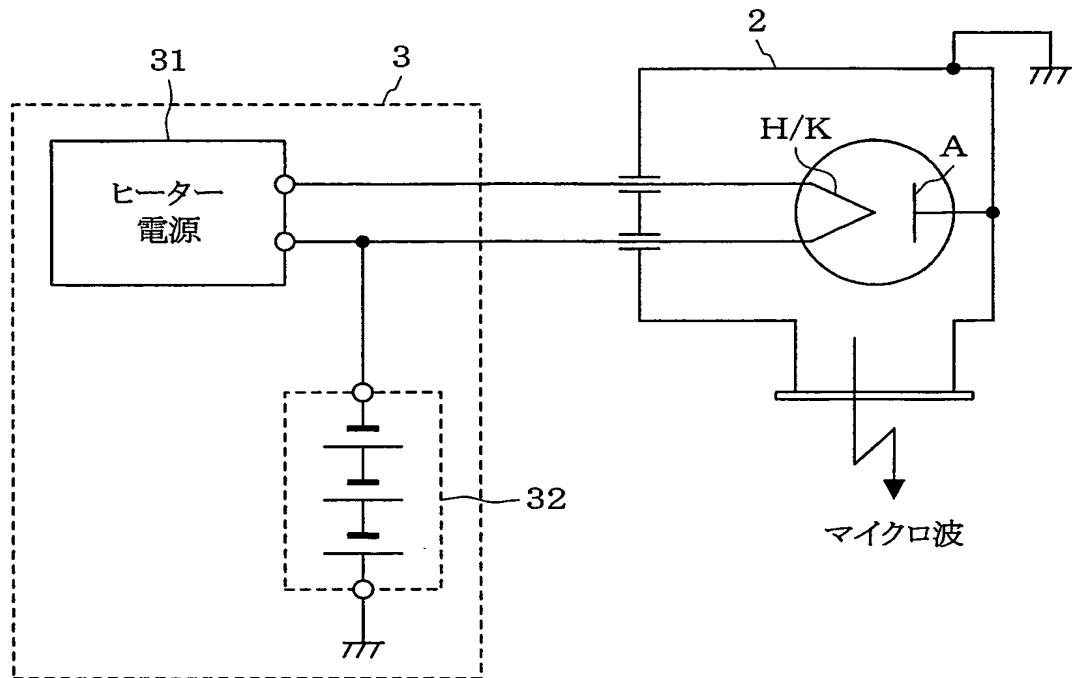
【書類名】図面  
【図 1】



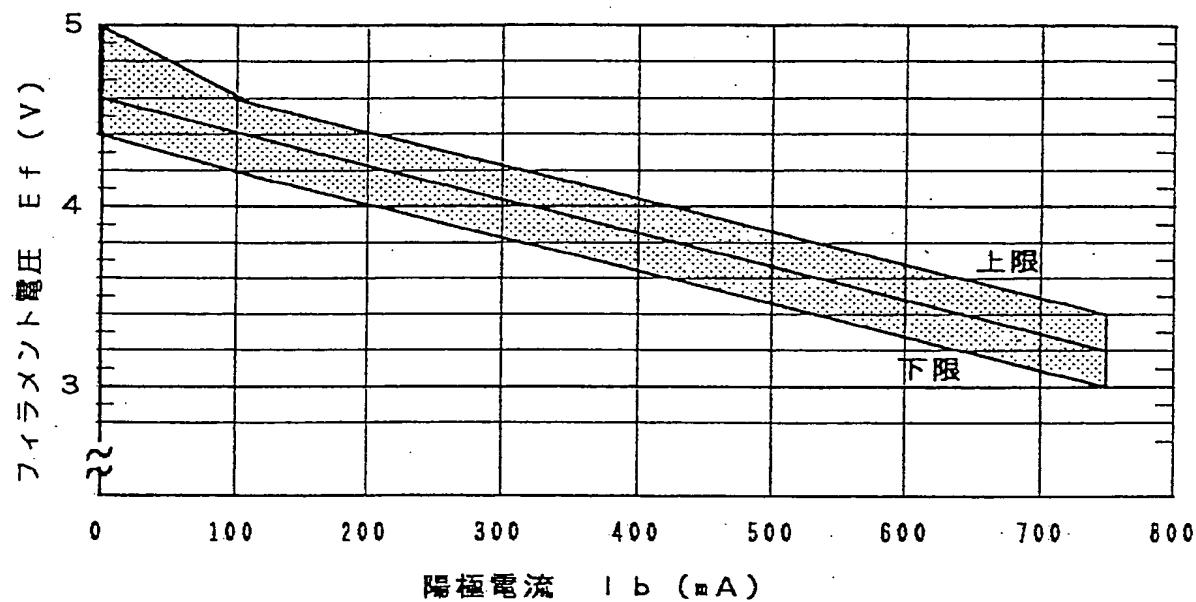
【図 2】



【図3】

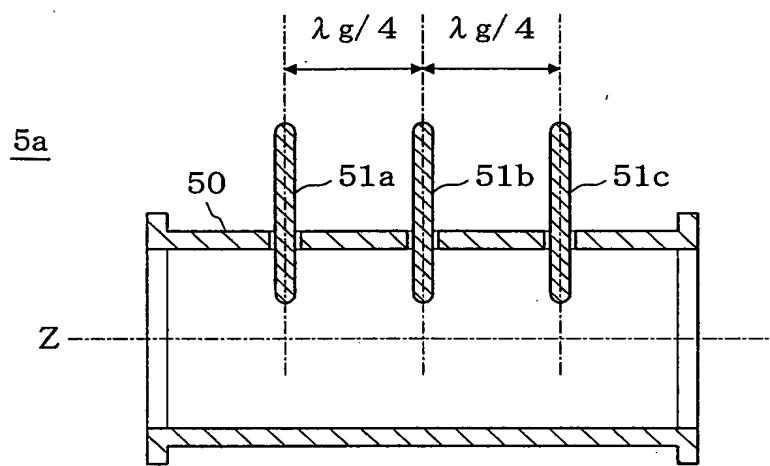


【図4】

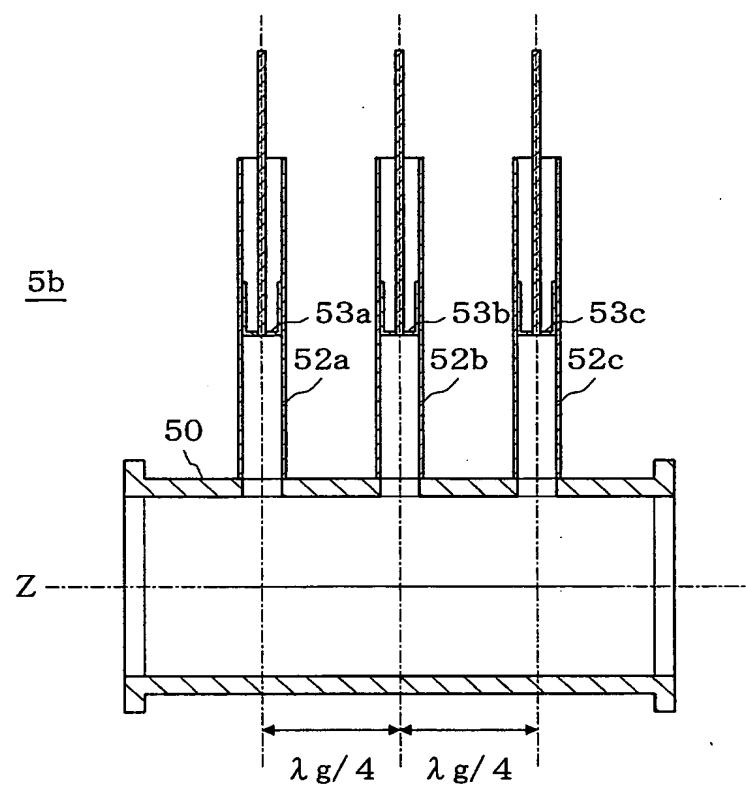


【図 5】

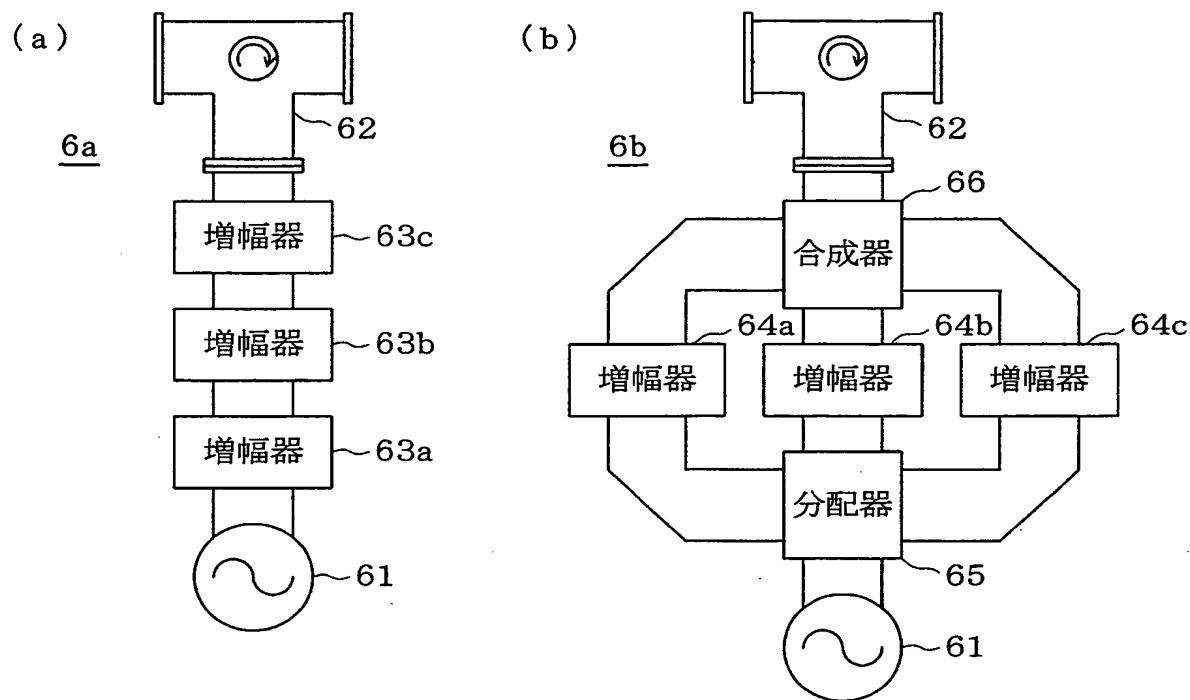
(a)



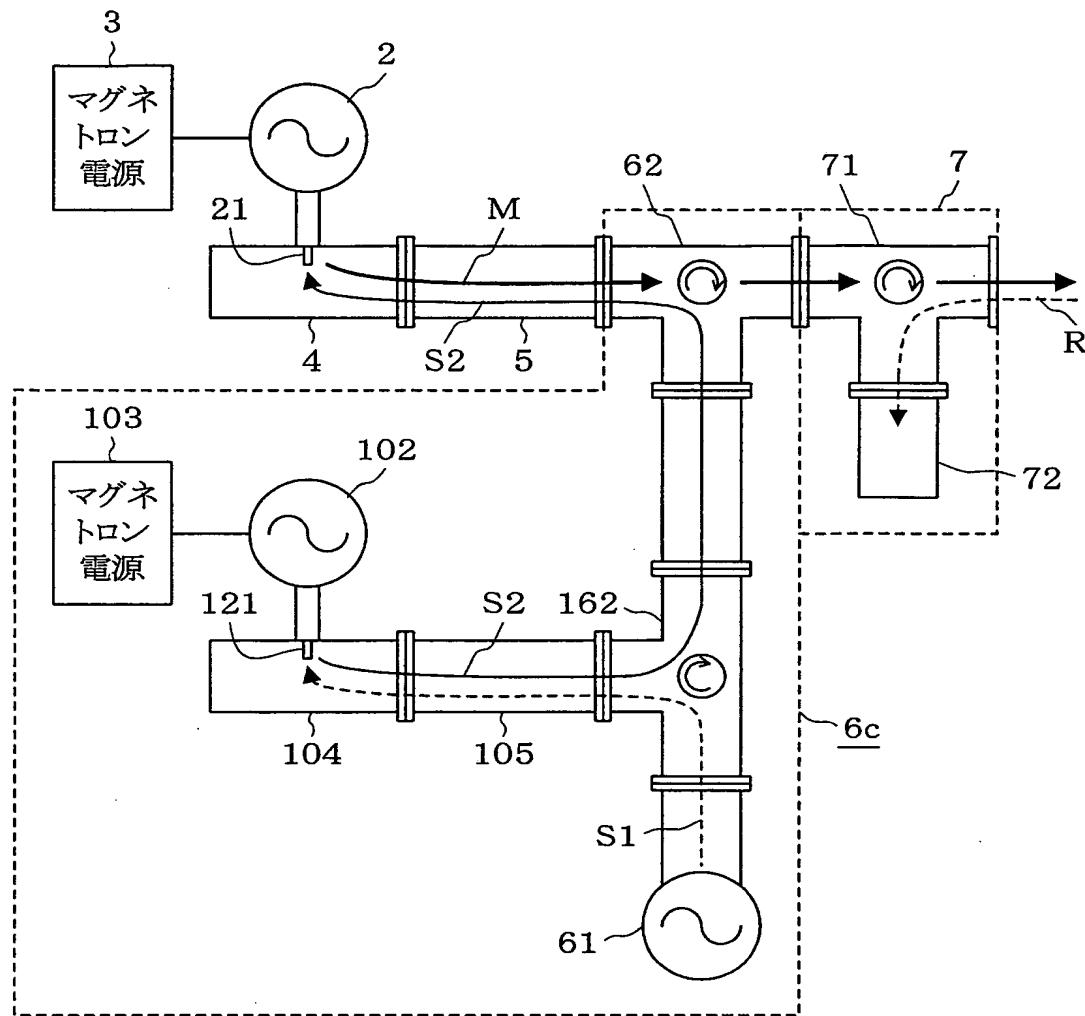
(b)



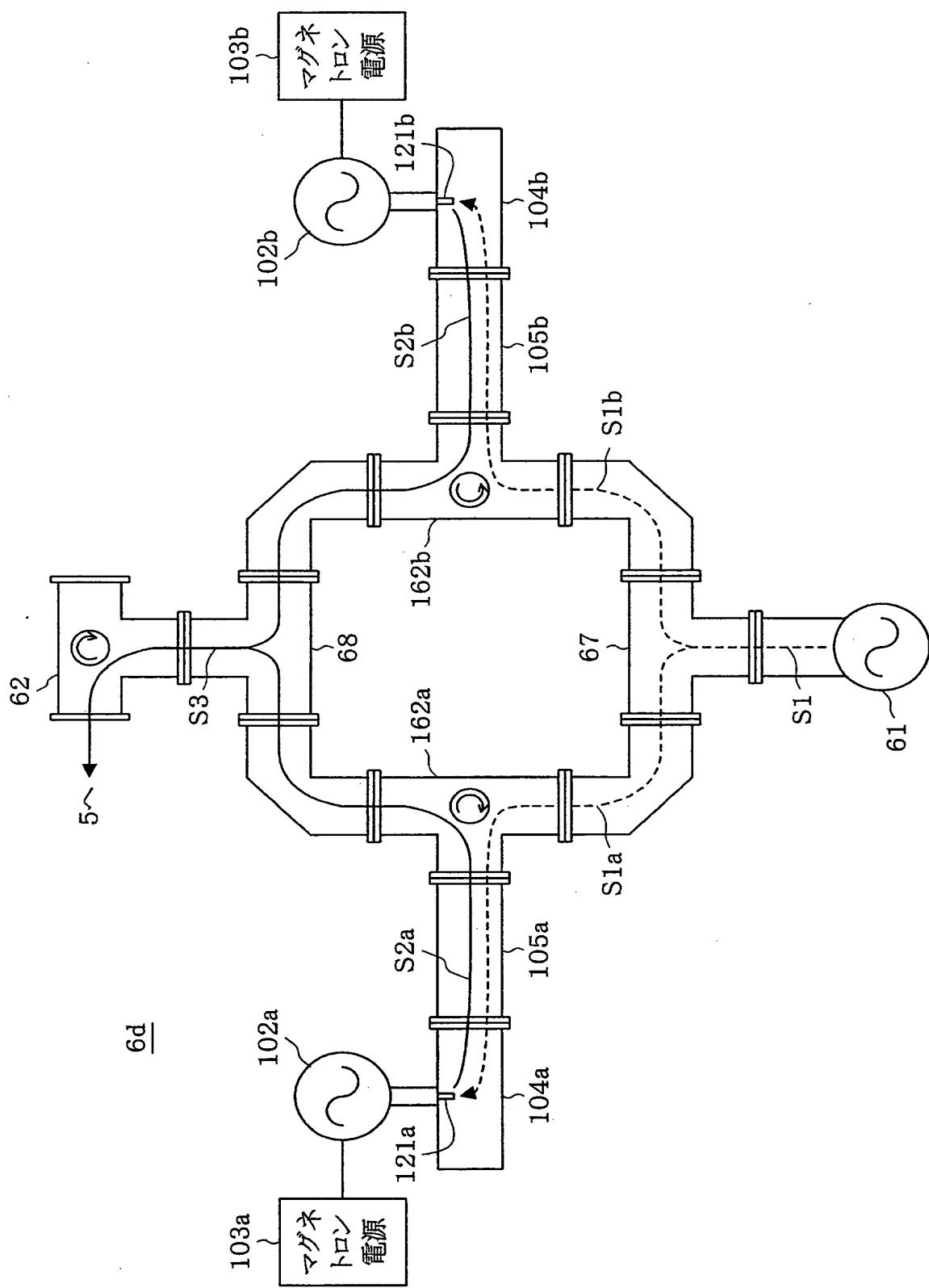
【図 6】



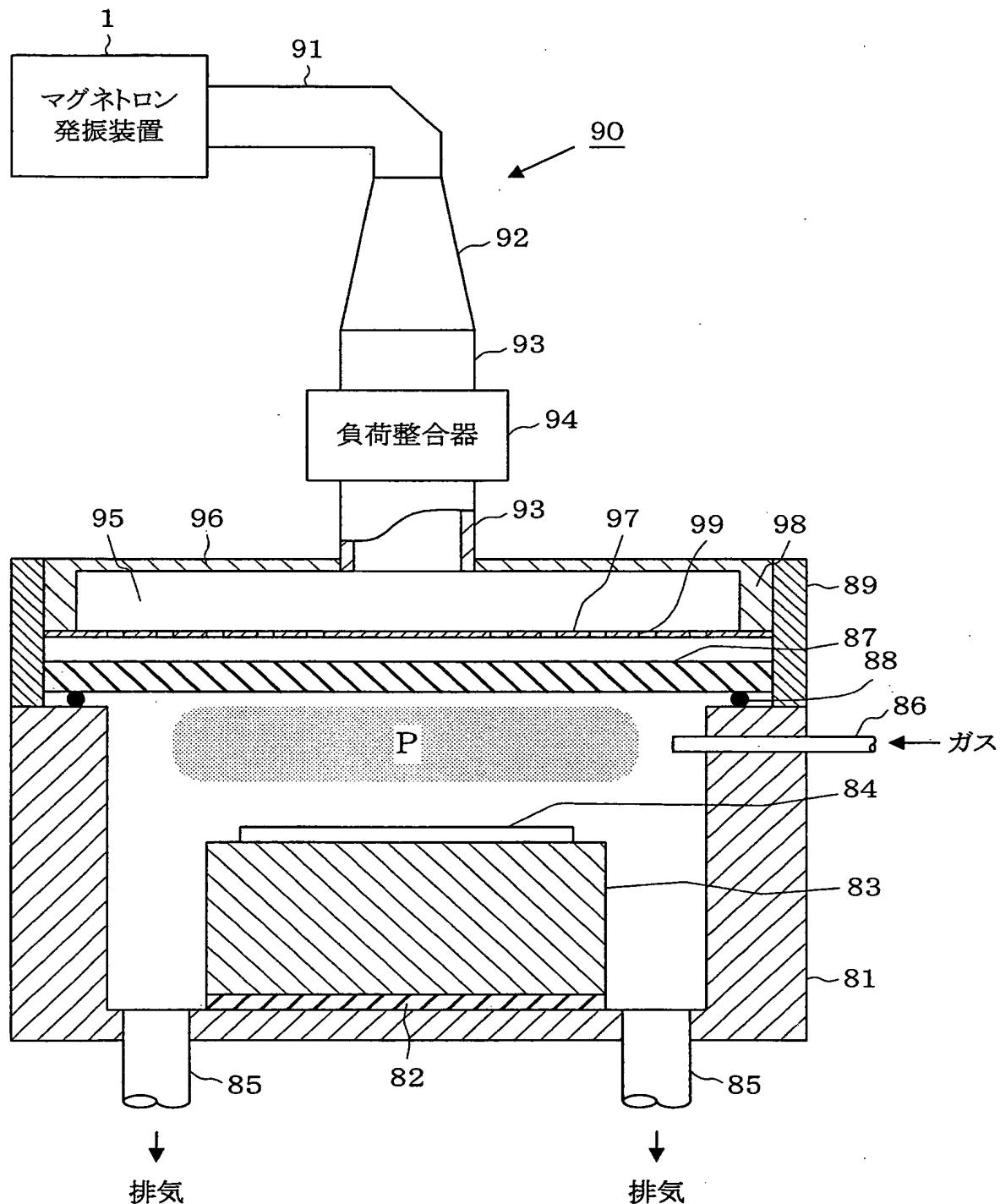
【図 7】



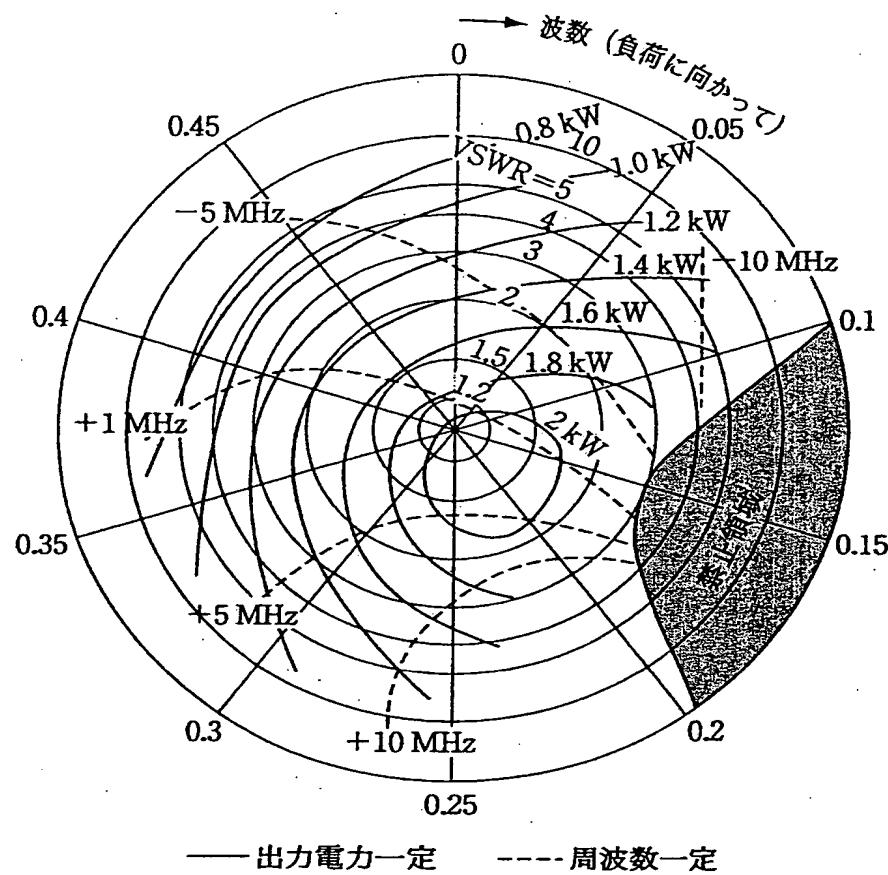
【図 8】



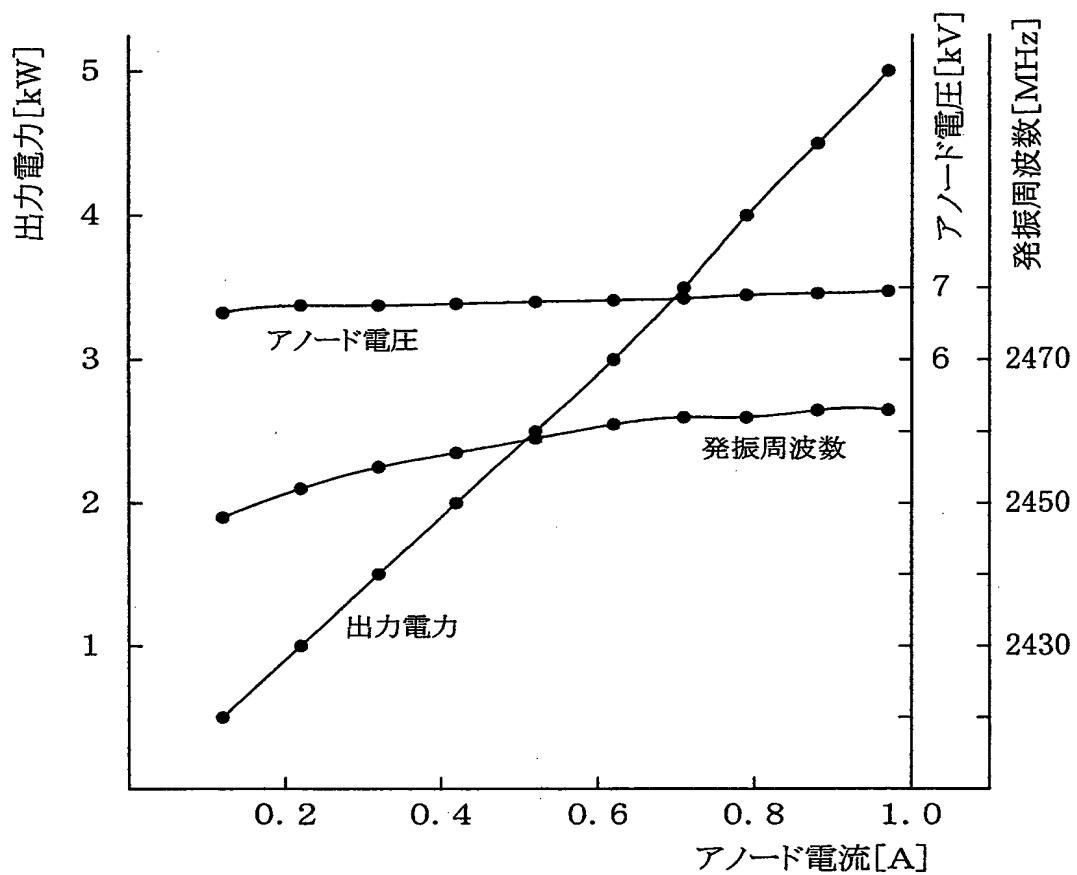
【図9】



【図 10】



【図11】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】周波数安定度がよく、出力電力を変化させても周波数が変動しないマグネットロン発振装置を実現する。

【解決手段】マグネットロン2と、マグネットロン2の出力電力を取り出すランチャー4と、ランチャー4の出力端に一端が接続されたインピーダンス発生器5と、インピーダンス発生器5の他端に接続された基準信号供給部6とを備える。基準信号供給部6は、マグネットロン2の出力よりも低電力かつ周波数が安定した基準信号をマグネットロン2に供給するものである。マグネットロン2は、基準信号の注入により基準信号の周波数に発振周波数が固定される。インピーダンス発生器5は、マグネットロン2の負荷インピーダンスを調整することにより、マグネットロン2の発振周波数の変化幅を縮小することができる。

【選択図】 図1

特願 2004-278051

## 出願人履歴情報

識別番号 [391020986]

1. 変更年月日 1991年 2月 15日

[変更理由] 新規登録

住所 神奈川県横浜市緑区中山町 1119  
氏名 日本高周波株式会社